

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Toshihide IZUMIYA

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: LIGHT-EMITTING SEMICONDUCTOR DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS  
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number \_\_\_\_\_, filed \_\_\_\_\_, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):  
Application No. \_\_\_\_\_ Date Filed \_\_\_\_\_

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2003-068556	March 13, 2003

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number \_\_\_\_\_  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. \_\_\_\_\_ filed \_\_\_\_\_; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s) \_\_\_\_\_  
☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
\_\_\_\_\_  
Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124

Customer Number

22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 05/03)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   3 月 1 3 日  
Date of Application:

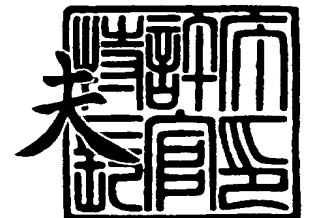
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 0 6 8 5 5 6  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 3 - 0 6 8 5 5 6 ]

出   願   人            株 式 会 社 東 芝  
Applicant(s):

2 0 0 4 年   1 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 13928501

【提出日】 平成15年 3月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 半導体発光素子

【請求項の数】 7

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝  
マイクロエレクトロニクスセンター内

【氏名】 泉 谷 敏 英

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【住所又は居所】 東京都港区芝浦一丁目1番1号

【氏名又は名称】 株式会社 東 芝

【代理人】

【識別番号】 100075812

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉 武 賢 次

【選任した代理人】

【識別番号】 100088889

【弁理士】

【氏名又は名称】 橘 谷 英 俊

【選任した代理人】

【識別番号】 100082991

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐 藤 泰 和

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100096921

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉 元 弘

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100103263

【弁理士】

【氏名又は名称】 川 崎 康

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 087654

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長 $\lambda$ の光を反射する第 1 の反射膜と、  
前記第 1 の反射膜上に形成され、電流注入により略波長 $\lambda$ の光を放射する発光層と、

前記発光層上に形成され、第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層よりも屈折率が低い第 2 の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、第 2 導電型で、波長 $\lambda$ の光を反射し、波長 $\lambda$ の光に対する反射率が前記第 1 の反射膜よりも低い、第 2 の反射膜と、

前記第 2 の反射膜上に形成され、第 2 導電型で、前記第 2 の反射膜の膜厚の  $1/2$  以上の膜厚を有し、波長 $\lambda$ の光に対して透光性を有する電流拡散層と、

前記電流拡散層上に形成され、第 2 導電型で、バッドギャップが前記電流拡散層よりも狭いコンタクト層と、

少なくとも前記第 2 の反射膜の一部に形成された高抵抗化領域と、  
を備えることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

500Mbps 以上の速度で動作可能であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】

前記第 2 の反射膜が、III-V 族化合物半導体からなる前記第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層と V 族元素が共通の III-V 族化合物半導体からなる前記第 2 の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、

前記電流拡散層が、前記第 1 および第 2 の半導体層と V 族元素が共通の III-V 族化合物半導体からなることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記第 2 の反射膜が、 $Al_jGa_{1-j}As$  ( $0 \leq j$ ) からなる前記第 1 の半

導体層と、 $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{As}$  ( $j < k \leq 1$ ) からなる前記第 2 の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、

前記電流拡散層が、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq z \leq 1$ ) からなることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれかに記載の半導体発光素子。

#### 【請求項 5】

前記第 2 の反射膜が、平均 Al 組成が 0.4 以上の III-V 族化合物半導体からなり、

前記電流拡散層が、Al 組成が 0.2 以上の III-V 族化合物半導体からなることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の半導体発光素子。

#### 【請求項 6】

前記第 2 の反射膜が、 $\text{Al}_j\text{Ga}_{1-j}\text{As}$  ( $0 \leq j$ ) からなる前記第 1 の半導体層と、 $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{As}$  ( $j < k \leq 1$ ) からなる前記第 2 の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、

前記電流拡散層が、 $\text{In}_d(\text{Ga}_{1-c}\text{Al}_c)_{1-d}\text{P}$  ( $0 < c \leq 1$ 、 $0 \leq d < 1$ ) からなることを特徴とする請求項 5 記載の半導体発光素子。

#### 【請求項 7】

前記第 2 の反射膜の積層ペア数が 4 以上 12 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれかに記載の半導体発光素子。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【従来の技術】

近年、III-V 属化合物半導体を利用した発光ダイオード (LED) や半導体レーザ (LD) が光通信、マルチメディア関連事業、LED 表示パネルに使用され広く普及してきている。中でも光通信の分野での発展は急速で、社会の IT 化を支えている。この光通信とは、一般的には、石英系光ファイバーと、赤外領域の波長の光素子と、を用いた長距離の大容量光通信を指す。しかし、この数年、可視光の波長の光素子を用いた、10～100m 程度の短距離の光通信も脚光を受けている。これは、ポリマー系の光ファイバー (POF) が開発され、可視領域での光伝送が可能になったからである。現時点では、この 10～100m 程度

の短距離のデータ転送において、5 0 0 M ~ 1 G b p s の伝送速度が上記の III - V 属化合物半導体発光素子を使用して実証されつつある。

#### 【0 0 0 2】

このような 5 0 0 M b p s クラスの伝送速度（I E E E 1 3 9 4 など）の可視光短距離光通信の III - V 属化合物半導体発光素子として期待されているのが、レゾナントキャビティ（resonant cavity）型 L E D（R C 型 L E D）である。この R C 型 L E D は、いわばレーザダイオードと発光ダイオードの中間とも言える特徴を持つ素子で、その高速応答性に期待が寄せられている。

#### 【0 0 0 3】

すなわち、これまで、1 2 5 M b p s 程度の伝送速度の光通信に用いる発光素子としては、安価であることから、表示用 L E D と同じ構造の L E D が利用されてきた。しかし、この L E D では 2 5 0 M b p s 程度の伝送速度に対応することが限界と見られており、高速応答性に問題がある。一方、応答速度の点だけを見ると、発光素子として L D を用いることが優位である。しかし、L D には、高価である、温度特性が悪い、という問題点がある。そこで、可視光短距離光通信の発光素子として、上記の R C - L E D に大きな期待が寄せられている。この R C - L E D は、例えば、特開 2 0 0 2 - 7 6 4 3 3 号公報や特開 2 0 0 2 - 1 1 1 0 5 4 号公報に記載されている。

#### 【0 0 0 4】

##### 【特許文献 1】

特開 2 0 0 2 - 7 6 4 3 3 号公報

##### 【特許文献 2】

特開 2 0 0 2 - 1 1 1 0 5 4 号公報

#### 【0 0 0 5】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の R C 型 L E D は、光出力が低く、5 0 0 M b p s 以上の伝送速度の光通信に用いると、受光側の信号が弱くなってしまうという問題があった。これは、発光素子において、高速動作を可能にすることと、光出力を増加させることと、を両立することが困難であるためである。

## 【0006】

すなわち、発光素子では、発光面積を縮小し、素子容量を低減すれば、高速動作が可能となる。しかし、このようにすると、通常、光出力は低くなる。逆に、素子を大型化したり、電流狭窄構造やリッジ構造などの複雑な構造を用いたりすれば、光出力は高くなる。しかし、このようにすると、高速動作は困難となる。このように、発光素子において、高速動作を可能にすることと、光出力を増加させることと、を両立することが困難である。このため、高速動作を優先し、500Mbps以上の動作になるようにRC型LEDを設計すると、光出力が低くなってしまった。

## 【0007】

本発明は、かかる課題の認識に基づくものであり、その目的は、高速動作で、かつ、光出力が高いレゾナントキャビティ型半導体発光素子（RC型LED）を提供することである。

## 【0008】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の半導体発光素子は、波長 $\lambda$ の光を反射する第1の反射膜と、前記第1の反射膜上に形成され、電流注入により略波長 $\lambda$ の光を放射する発光層と、前記発光層上に形成され、第1の半導体層と、前記第1の半導体層よりも屈折率が低い第2の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、第2導電型で、波長 $\lambda$ の光を反射し、波長 $\lambda$ の光に対する反射率が前記第1の反射膜よりも低い、第2の反射膜と、前記第2の反射膜上に形成され、第2導電型で、前記第2の反射膜の膜厚の1/2以上の膜厚を有し、波長 $\lambda$ の光に対して透光性を有する電流拡散層と、前記電流拡散層上に形成され、第2導電型で、バッドギャップが前記電流拡散層よりも狭いコンタクト層と、少なくとも前記第2の反射膜の一部に形成された高抵抗化領域と、を備えることを特徴とする。

## 【0009】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照にしつつ、本発明の実施の形態の半導体発光素子について説明する。本実施形態の半導体発光素子の特徴の1つは、例えば図1に示すように



、第2の反射膜17等の一部に高抵抗化領域70を設け、かつ、この第2の反射膜17上に電流拡散層18を設けている点である。この構成に基づき、本実施形態では、高抵抗化領域70を設けたので、素子容量を低減し、高速動作をさせることができる。また、電流拡散層18を設けたので、p側電極20からの電流を発光層15に均一に注入し、光出力を向上させることができる。これらより、500Mbps以上の高速動作が可能で、かつ、光出力が高いレゾナントキャビティ型LED（RC型LED）を得ることができる。以下では、図1～図7を参照にして、6つの実施の形態について説明する。

### 【0010】

（第1の実施の形態）

図1は、本発明の第1の実施の形態のRC型LEDの断面図である。このRC型LEDは、500Mbps以上の伝送速度の光通信で用いられる発光素子である。発光波長は、660nmである。この発光波長は、現行のPOFにおいて、伝送ロスが少ない波長である。

### 【0011】

図1において、GaAs基板11上には、n型GaAsバッファ層12、 $Al_xGa_{1-x}As$ （ $x=0.50$ ）と $Al_yGa_{1-y}As$ （ $y=0.95$ ）とを交互に50ペア積層したn型の下側DBR（distributed Bragg reflector）層（第1の反射膜）13、InGaAlP系材料からなるn型クラッド層14、InGaAlP系材料からなるMQW構造の発光層15、InGaAlP系材料からなるp型クラッド層16、 $Al_jGa_{1-j}As$ （ $j=0.50$ ）と $Al_kGa_{1-k}As$ （ $k=0.95$ ）とを交互に12ペア積層した膜厚約 $1.2\mu m$ のp型の上側DBR層（第2の反射膜）17、が順次形成されている。この上側DBR層17上には、 $Al_zGa_{1-z}As$ （ $z=0.7$ ）からなる膜厚600nmの電流拡散層18が形成されている。図1のRC型LEDの特徴の1つは、この電流拡散層18を設けた点である。この電流拡散層18のキャリア濃度は、 $1.0 \times 10^{18}/cm^3 \sim 4.0 \times 10^{18}/cm^3$ である。この電流拡散層18上には、GaAsからなる膜厚20nmのp型コンタクト層19が形成されている。n型DBR層13～コンタクト層19の一部には、図1に示すように、

プロトン打ち込みにより高抵抗化領域 70 が形成されている。プロトンが打ち込まれない部分の図中横方向のサイズ、つまり発光部の図中横方向のサイズは、 $50\ \mu\text{m}$ である。コンタクト層 19 上の一部には、一方側の電極である p 側電極（電極メタル）80 が形成されている。他方側の電極である n 側電極 81 は、GaAs 基板 11 の図中下側に形成される。

#### 【0012】

上記の図 1 の RC 型 LED の各半導体層 12 ~ 19 は例えば MOCVD 法（有機金属気相成長法）により成長される。In 原料はトリメチルインジウム（TMIn）、Ga 原料はトリメチルガリウム（TMG）、Al 原料はトリメチルアルミニウム（TMA）、砒素原料はアルシン（AsH<sub>3</sub>）、窒素原料はモノメチルヒドラジンが使用される。n 型ドーパントの原料にはシラン（SiH<sub>4</sub>）、p 型ドーパントの原料にはジメチル亜鉛（DMZ）または 4 臭化炭素（CBr<sub>4</sub>）を利用することができる。特に、AlGaAs からなる上側 DBR 層 17 および電流拡散層 18 は、p 型ドーパントの原料に 4 臭化炭素を利用し、p 型ドーパントを炭素にすることが好ましい。このように AlGaAs からなる層 17、18 へのドーパントを炭素にすると、p 型ドーパントが高濃度にドーピングされ、かつ、p 型ドーパントが発光層 15 へ拡散しにくくなり、高い特性が得られる。各半導体層 12 ~ 19 の成長後は、プロトン打ち込みにより高抵抗化領域 70 を形成し、p 側電極 80 および n 側電極 81 を形成して、図 1 の RC 型 LED となる。

#### 【0013】

この図 1 の RC 型 LED では、p 側電極 80 と n 側電極 81 とから発光層 15 に電流が注入され、発光層 15 から波長 660 nm 付近の光が放射される。この光は、反射膜としての上下の DBR 層 13、17 によって反射され、共振されて、フォトリサイクリング効果により、発光スペクトル幅が約 5.5 nm まで狭められる。図 1 の発光素子では、発光層 15 からの光に対する反射率は、下側 DBR 層 13 が 99.95% と高いのに対し、上側 DBR 層 17 が約 95% と低い。このため、共振された光は、反射率が低い上側 DBR 層 17 を介して、図中上側に放射される。

#### 【0014】

ここで、RC型LEDとは、図1のように、発光層15の両側を反射膜13、17で挟み、この間で光を共振させ、フォトリサイクリング効果を生じさせるものである。キャリアに反転分布が生じ、共振がさらに強まれば面発光レーザとなるが、RC型LEDでは面発光レーザよりも反射膜13、17の反射率が低く、レーザ発振（誘導放射）は起こらない。面発光レーザは、例えば4 Gbps以上の動作が求められる光通信に用いられ、この用途ではスペクトル幅を2～3 nmと狭くする必要がある。これに対し、500 Mbps～1 Gbpsの動作が求められる光通信では、スペクトル幅は6 nm程度で対応でき、図1のRC型LEDでも対応できる。このRC型LEDでは、光取り出し側の反射膜17の反射率を下げると、光の増幅効果（フォトリサイクリング効果）は低下するが、光の外部への放出は容易になる。このため、光取り出し側の反射膜17のペア数を適切な値まで減らすと、光出力が高くなる。本実施形態では、上述のように、第1の反射膜13のペア数を50としたのに対し、第2の反射膜（光取り出し側の反射膜）17のペア数を12まで減らして、光出力を高めている。

#### 【0015】

以上説明した図1のRC型LEDでは、n型DBR層13～コンタクト層19の一部にプロトン打ち込みにより高抵抗化領域70を形成したので、素子の容量を低減し、素子の高速動作を可能にすることができる。

#### 【0016】

また、図1のRC型LEDでは、上側DBR層17上に厚さ600 nmの電流拡散層18を設けたので、光出力を増加させることができる。これは、電流拡散層18を設けることにより、p側電極20から発光層15に向かう電流が図中横方向に十分広がり、発光層に均一に電流が注入されるからであると解析される。

#### 【0017】

もともと、500 Mbps以上の高速動作が要求されるRC型LEDにおいて、膜厚が600 nmもある電流拡散層18を設けることは、従来の技術常識に反することである。なぜなら、厚膜の電流拡散層18を設ければ、素子容量が高くなり、高速動作が困難になってしまうと考えられていたからである。しかしながら本発明者の実験によれば、図1の素子では、1 Gbpsでの動作実験で良好な

結果が得られた。この理由について、本発明者は、次のように考えている。すなわち、図1の素子では、上側DBR層17等へのイオン注入により高抵抗化領域70を形成することによって素子容量を低減しているので、電流拡散層を形成することによって素子容量を低減する場合と異なり、上側DBR層17、電流拡散層18、コンタクト層19の結晶成長を連続して行うことができる。このように結晶成長を連続して行い、十分なキャリア濃度があれば、従来考えられていたよりも、電流拡散層18を設けることによる素子抵抗の上昇が少なくなる。また、上側DBR層17を構成する半導体と電流拡散層18を構成する半導体とはいずれもAlGaAsであり、V族元素(As)が共通である。このようにV族元素が共通する半導体層17、18を中断なしに形成した場合には、両層17、18の界面での素子抵抗の上昇が少なくなる。また、上側DBR層17を構成する半導体と電流拡散層18を構成する半導体には共にAlが大量に含まれている。このようにAlが含まれている半導体層17、18を連続して形成した場合には、両層17、18の界面での素子抵抗の上昇が少なくなる。これらにより、素子抵抗の上昇の大部分はn型層13、14とp型層16~19との境界で起こり、電流拡散層18を設けることによる素子抵抗の上昇の寄与は少ない。この結果、図1の素子では、電流拡散層18を設けたのにも拘わらず、1Gbpsでの高速動作が可能になると考えられる。

#### 【0018】

このように、図1の素子では、高抵抗化領域70を設け、かつ、電流拡散層18を設けたので、高い動作速度を維持しながら、発光出力を高くすることができる。具体的には、図1の素子は、500Mbpsでの動作実験において、素子抵抗10Ω、素子容量3pF、パルス駆動での発光立ち上がり時間2ns以下、立ち下り時間1ns以下、の動作ができた。また、図1のRC型LEDでは、光出力が、電流拡散層18を設けていない図2に示す本発明者の他のRC型LED(比較サンプル)に比べ、10%以上上昇する。つまり、電流拡散層18を設けることにより、光出力を1.1倍以上にすることができる。

#### 【0019】

また、図1のRC型LEDでは、反射膜13、17として、Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>As

、50Asからなる高屈折率層と、Al<sub>0.95</sub>Ga<sub>0.05</sub>Asからなる低屈折率層と、を交互に周期的に積層したDBR層を用いた。この反射膜13、17では、低屈折率層から高屈折率層へ光が進行する際にその光の反射が起こり易いという光の性質を利用して、発光層15からの光を反射する。そして、周期構造を、発光層15からの光の波長の2または1/2または1/8倍に対応する周期の周期構造とすることで、発光層15からの光を効率良く反射することができる。

#### 【0020】

また、図1のDBR層17のような、Al<sub>j</sub>Ga<sub>1-j</sub>As/Al<sub>k</sub>Ga<sub>1-k</sub>AsからなるDBR層17は、GaAs基板11や発光層15と格子定数が近く、InGaAlP系発光素子で一般的に用いられている。このため、このDBR層17は、その特性や製造方法が良く知られていて、設計や製造が容易である。また、このような2種類の交互積層膜を用いることは、その間に中間組成の層を入れる場合に比べ、熱抵抗を下げ、製造を容易にすることができる。

#### 【0021】

以上説明した図1のRC型LEDでは、電流拡散層18を、膜厚600nmのAl<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>As（ $z=0.7$ ）としが、この膜厚およびAl組成 $z$ を変えることもできる。光出力を重視する場合は、膜厚を厚くしてAl組成 $z$ を高くする。逆に、対湿性を重視する場合は、Al組成 $z$ を低くする。ただし、電流拡散層18が発光層15からの光を吸収しないように、Al組成 $z$ は0.5以上が好ましい。また、上述の光出力の上昇効果を得るためには、電流拡散層18の膜厚を、上側DBR層17の膜厚の半分以上にすることが好ましい。

#### 【0022】

また、図1のRC型LEDでは、第2の反射膜17として、Al<sub>j</sub>Ga<sub>1-j</sub>As（ $j=0.50$ ）からなる第1の半導体層と、Al<sub>k</sub>Ga<sub>1-k</sub>As（ $k=0.95$ ）からなる第2の半導体層と、を交互に周期的に積層したDBR層を用いたが、発光波長等に応じて、Al組成 $j$ 、 $k$ を変化させることもできる。ただし、Al組成が低い第1の半導体層のAl組成 $j$ は、発光層15からの光に対して吸収が無いように設定することが好ましい。また、両層のAl組成の差（ $k-j$

j) は、発光層 15 からの光に対する反射率を大きくするため、高く設定することが好ましい。

#### 【0023】

また、図 1 の RC 型 LED では、第 1 の反射膜 13 として、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.50$ ) と、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0.95$ ) と、を交互に周期的に 50 ペア積層した DBR 層を用いた。しかし、必要に応じて、この第 1 の反射膜 13 を、発光層 15 からの光に対する反射率が 99.9% 以上の他の反射膜とすることもできる。

#### 【0024】

以上の説明では、理解を容易にするために、共振波長  $\lambda_{FP}$  と、PL 発光波長 (活性層からの発光波長)  $\lambda_{PL}$  と、が等しいものとして説明した。しかし、これらは厳密にはやや異なる値とされる。具体的には、RC 型 LED では、一般的に、 $\Delta = \lambda_{FP} - \lambda_{PL} = 5 \sim 10 \text{ nm}$  とされる。これは、発熱で  $\lambda_{PL}$  が長くなるなどの理由からである。つまり、図 1 の RC 型 LED は、厳密には、第 1 および第 2 の反射膜 13、17 による共振波長を  $\lambda_{FP}$  とすれば、発光層が放射する光は  $(\lambda_{FP} - \Delta)$  である。つまり、発光層が放射する光は、略波長  $\lambda_{FP}$  である。

#### 【0025】

(第 2 の実施の形態)

第 2 の実施の形態の RC 型 LED が第 1 の実施の形態 (図 1) と異なる点は、図 3 に示すように、上側 DBR 層 27 のペア数を 6 に減らし、この上側 DBR 層 27 の膜厚を約 600 nm まで薄くした点である。これにより、光出力をさらに高くすることができる。上側 DBR 層 27 のペア数および膜厚以外の構造は第 1 の実施の形態 (図 1) と同様である。

#### 【0026】

図 3 は、本発明の第 2 の実施の形態の RC 型 LED を示す断面図である。p 型クラッド層 16 上に形成された上側 DBR 層 27 は、第 1 の実施の形態 (図 1) と同様に、 $\text{Al}_j\text{Ga}_{1-j}\text{As}$  ( $j=0.50$ ) からなる高屈折率層と、 $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{As}$  ( $k=0.95$ ) からなる低屈折率層と、を交互に集積した構

造である。最終層（一番上の層）は、 $Al_jGa_{1-j}As$  ( $j=0.50$ ) からなる高屈折率層である。膜厚は約 600 nm である。この膜厚は、図 1 の上側 DBR 層 17 の約半分である。この図 3 の上側 DBR 層 27 では、反射率を高めるために、発光層 15 から見て最遠層（一番上の層）を高屈折率層 ( $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$  層) としている。また、このように上側 DBR 層 27 の一番上の層を低 Al 組成の層とすることで、耐湿性も向上する。この上側 DBR 層 27 上に形成された電流拡散層 18 の膜厚は 600 nm である。この電流拡散層 18 上には、コンタクト層 19 が形成される。

#### 【0027】

上記の図 3 の RC 型 LED では、DBR 層 27 のペア数を 6 まで減らしたので、図 1 の素子に比べてさらに光出力を高くすることができる。この理由は、DBR 層 27 のペア数を減らすことにより光の外部への放出が容易になること、および、電流拡散層 18 を設けたので DBR 層 27 の膜厚を薄くしても p 側電極 80 から発光層 15 に向かう電流が図中横方向に十分広がって発光層 15 に均一に電流が注入されること、によると解析される。具体的には、図 3 の RC 型 LED の光出力は、図 1 の素子の約 1.1 倍、図 2 の比較サンプルの約 1.2 倍、となった。

#### 【0028】

また、図 3 の素子では、上側 DBR 層 27 のペア数を減らしたので、熱抵抗の低減を図り、温度特性を上昇させることもできる。

#### 【0029】

また、図 3 の素子では、上側 DBR 層 27 のペア数を減らしたのでスペクトル幅が 6 nm まで広がるが、POF を用いた短距離光通信システムでは、このスペクトル幅でも問題はない。

#### 【0030】

以上説明した図 3 の RC 型 LED では、上側の DBR 層 27 のペア数を 6 とした例について説明したが、このペア数が 4 以上 11 以下、好ましくは 4 以上 8 以下であれば、光出力を上昇させる効果を得ることができる。

#### 【0031】

### (第3の実施の形態)

第3の実施の形態のRC型LEDが第2の実施の形態(図3)と異なる点は、図4に示すように、電流拡散層38をZnドープの $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5})_{0.5}\text{P}$ とした点である。他の構造は、第2の実施の形態(図3)と同様であり、詳細な説明は省略する。

#### 【0032】

図4のRC型LEDの製造方法では、電流拡散層38のp型ドーパントの原料にジメチル亜鉛(DMZ)を利用し、p型ドーパントを亜鉛とすることが好ましい。このように $\text{InGaAlP}$ からなる層38のp型ドーパントを亜鉛とすると、p型ドーパントが高濃度にドーピングされる。

#### 【0033】

図4のRC型LEDでは、電流拡散層38を $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5})_{0.5}\text{P}$ としたので、第2の実施の形態(図3)に比べ、耐酸化性を向上させることができる。ここで、この電流拡散層38は、膜厚を厚くするほど、耐酸化性が向上するはずである。しかし、この電流拡散層38は、 $\text{AlGaAs}$ からなる第2の反射膜27と材料系が異なるため、厚膜の結晶成長が困難である。このため、電流拡散層38の膜厚は、 $0.5\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

#### 【0034】

また、図4のRC型LEDでは、第2の反射膜27と、電流拡散層38と、の材料系が異なるにもかかわらず、素子抵抗の上昇を抑え、 $500\text{Mb/s}$ 以上の高速動作を実現することができる。この理由は、上側DBR層27と電流拡散層38とを連続して結晶成長できること、および、連続する両層27、38にAlを含ませることで両層27、28の界面での素子抵抗が上昇しにくくなること、によると解析される。

#### 【0035】

以上説明した図4のRC型LEDでは、電流拡散層38を $\text{In}_d(\text{Ga}_{1-c}\text{Al}_c)_{1-d}\text{P}$  ( $c=0.5$ 、 $d=0.5$ )とした。このように $c=d=0.5$ 付近にすると、耐酸化性を優れたものとすることができる。ただし、発光層15から放射される発光波長により、最適な組成は変化する。



## 【0036】

また、図4のRC型LEDでは、第2の反射膜27を $\text{Al}_{0.50}\text{Ga}_{0.50}\text{As}/\text{Al}_{0.95}\text{Ga}_{0.05}\text{As}$ 周期多層構造、電流拡散層38を $\text{In}_{0.5}(\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5})_{0.5}\text{P}$ としたが、上記第2の反射膜27を平均Al組成0.4以上のIII-V族化合物半導体とし、上記電流拡散層38をAl組成0.2以上のIII-V族化合物半導体とすることもできる。逆に、Al組成を上記の値未満にすると、十分な効果が得られない。

## 【0037】

(第4の実施の形態)

図5は、本発明の第4の実施の形態のRC型LEDを示す断面図である。発光波長は、第1の実施の形態(図1)と同じく660nmに設定した。この素子が第1の実施の形態(図1)と異なる点は、第2の反射膜17の一部を水蒸気により選択酸化して、高抵抗化領域40を形成した点である。

## 【0038】

この図5の素子でも、第1の実施の形態(図1)の素子と同様に、DBR層17、電流拡散層18、コンタクト層19の結晶成長を連続して行うことができる。このため、電流拡散層18を設けることによる素子抵抗の上昇は少なく、第1の実施の形態と同様の高速動作を行うことができる。

## 【0039】

この図5の素子は、構造や製造方法がやや複雑で、第1の実施の形態と比べるとやや均一性、再現性に難がある。しかし、高抵抗領域40となる酸化層( $\text{AlO}_x$ )の屈折率が小さいため、レンズ効果が生じるメリットがある。このため、動作電圧を低くして、低電流領域での出力を高くすることができる。また、スペクトル幅を5nmと狭くすることができる。

## 【0040】

(第5の実施の形態)

上述の第1～第4の実施の形態では、プラスチック光ファイバ(POF)を用いた光伝送(光通信)に対応する発光波長660nmの発光素子について説明した。本実施形態では、石英ファイバを用いた光伝送に対応する発光波長1.25

$\mu\text{m}$ の発光素子について説明する。

#### 【0041】

図6は、本発明の第5の実施の形態の赤外発光のRC型LEDの断面図である。GaAs基板11上には、n型GaAsバッファ層12、n型の下側DBR層13、AlGaAsからなるn型クラッド層54、窒素2%のGaInNAsからなる単一量子井戸構造の発光層55、AlGaAsからなるp型クラッド層56、p型の上側DBR層17、p型GaAsからなる膜厚 $1.0\mu\text{m}$ の電流拡散層58、GaAsからなる膜厚20nmのp型コンタクト層19、が順次形成されている。

#### 【0042】

上記の図6の素子では、発光層55をGaInNAsとしている。この発光層55から発光される光は、波長約 $1.25\mu\text{m}$ の赤外光である。また、この発光層55の材質に合わせ、クラッド層54、56をAlGaAsにより構成している。また、電流拡散層58は、電流拡散層効果を高めるために $1.0\mu\text{m}$ の厚膜としている。また、この電流拡散層58は、動作電圧を低下させ、耐湿性を向上させ、高速動作を可能にするために、バンドギャップが小さいGaAsにより構成している。このように、電流拡散層58を膜厚が厚くバンドギャップが小さい層としても、GaAs層58は赤外光を透過するので、発光層55からの光が電流拡散層58により吸収されることはほとんどない。

#### 【0043】

以上説明した図6のRC型LEDでは、LD（レーザダイオード）に比べ、コストを格段に下げることができる。また、LDに比べ、動作電流密度を低くすることができる。また、熱の影響を少なくして、高温動作を可能にすることができる。ただし、LDに比べると、スペクトル幅は広く、動作速度は遅い。このため、図6のRC型LEDでは、これらの特徴を考慮し、用途に応じて、LDと使い分けることができる。

#### 【0044】

上記の図6のRC型LEDでは、発光波長を $1.25\mu\text{m}$ にする例について説明したが、N混入量を変化させて発光波長を $1.35\mu\text{m}$ 程度まで長波長化する

ことも可能である。

#### 【0045】

また、図6のRC型LEDでは、これを石英ファイバに用いる例について説明したが、今後赤外領域に損失の少ないPOFが開発されれば、これをPOFに用いることも可能である。

#### 【0046】

(第6の実施の形態)

第6の実施の形態は、発光波長 $0.98\mu\text{m}$ のRC型LEDである。

#### 【0047】

図7は、本発明の第6の実施の形態のRC型LEDを示す断面図である。GaAs基板11上には、n型GaAsバッファ層12、GaAsと $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0.97$ )とを交互に積層したn型の下側DBR層(第1の反射膜)63、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ からなるn型クラッド層64、InGaAs系材料からなるMQW構造の発光層65、 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ からなるp型クラッド層66、GaAsと $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{As}$  ( $k=0.97$ )とを交互に積層したp型の上側DBR層(第2の反射膜)67、p型GaAsからなる膜厚 $0.5\mu\text{m}$ の電流拡散層68、GaAsからなるp型コンタクト層19、が順次形成されている。

#### 【0048】

上記の図7の素子では、発光層65をInGaAs系材料としている。この発光層65から発光される光の波長は、約 $0.98\mu\text{m}$ である。また、この発光層65の材質にあわせ、クラッド層64、66をAlGaAs系材料により構成している。また、反射膜63、67は、1ペアあたりの反射率を上げるために、 $\text{Al}_j\text{Ga}_{1-j}\text{As}$  ( $j=0$ )と $\text{Al}_k\text{Ga}_{1-k}\text{As}$  ( $k=0.97$ )とを組み合わせ、組み合わせる2つの層の屈折率差を大きくしている。このように反射膜63、67を構成する一方の層にGaAs層を用いても、図7の素子は発光波長が $0.98\mu\text{m}$ の赤外光なので、このGaAs層による吸収はほとんど起こらない。また、電流拡散層68を構成する材料も、GaAsとしている。

#### 【0049】

以上説明した図7のRC型LEDも、図6のRC型LEDと同様に、LD（レーザダイオード）に比べ、コストを下げ、動作電流密度を低くし、熱の影響を少なくし、寿命を長くすることができる。このため、図7のRC型LEDも、用途に応じて、LDと使い分けることができる。

#### 【0050】

また、図7のRC型LEDも、今後赤外領域に損失の少ないPOFが開発されれば、POFに用いることが可能である。

#### 【0051】

以上のように、本発明を第1～第6の実施の形態により説明した。しかし、本発明は、上記の実施の形態に限られるものではない。例えば、各実施の形態の発光層の材質を変えることができる。具体的には、発光層にN（窒素）を混入させることで、ヘテロ接合を形成した場合の伝導帯側のエネルギー不連続を増加させ、電子のオーバーフローを低減して、温度特性を向上させることができる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の変形をして実施することができる。

#### 【0052】

##### 【発明の効果】

本発明によれば、第1の反射膜と、発光層と、第2の反射膜と、を備えるRC型LEDにおいて、上記第2の反射膜の一部に高抵抗化領域を設けて素子容量を低減し、かつ、上記第2の反射膜上に電流拡散層を設けたので、高速動作で、かつ、光出力が高いRC型LEDを提供することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

##### 【図2】

本発明者の比較サンプルのRC型LEDの断面図。

##### 【図3】

本発明の第2の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

##### 【図4】

本発明の第3の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

## 【図 5】

本発明の第 4 の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

## 【図 6】

本発明の第 5 の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

## 【図 7】

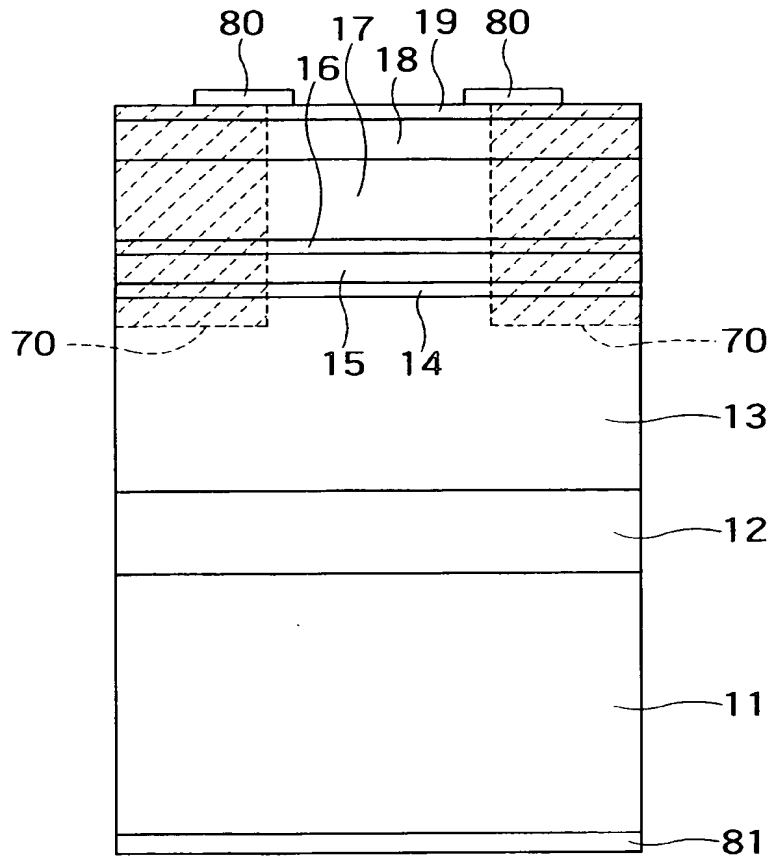
本発明の第 6 の実施の形態の半導体発光素子の断面図。

## 【符号の説明】

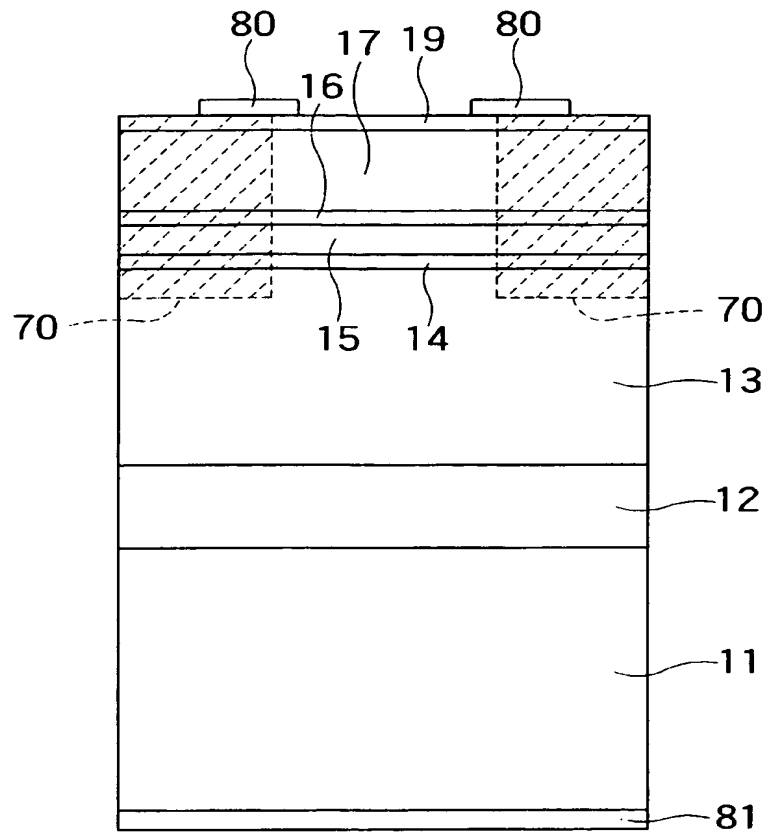
- 1 1    n 型 G a A s 基板
- 1 3    A l G a A s / A l G a A s からなる第 1 の反射膜
- 1 5    I n G a A l P 系材料からなる発光層
- 1 7    A l G a A s / A l G a A s からなる第 2 の反射膜
- 1 8    A l G a A s からなる電流拡散層
- 1 9    コンタクト層
- 2 7    A l G a A s / A l G a A s からなる第 2 の反射膜
- 3 8    I n G a A l P からなる電流拡散層
- 4 0    水蒸気酸化により形成された高抵抗化領域
- 5 5    G a I n N A s からなる発光層
- 5 8    G a A s からなる電流拡散層
- 6 4    A l G a A s / G a A s からなる第 1 の反射膜
- 6 5    I n G a A s 系材料からなる発光層
- 6 7    A l G a A s / G a A s からなる第 2 の反射膜
- 6 8    G a A s からなる電流拡散層
- 7 0    プロトン打ち込みにより形成された高抵抗化領域

【書類名】 図面

【図 1】

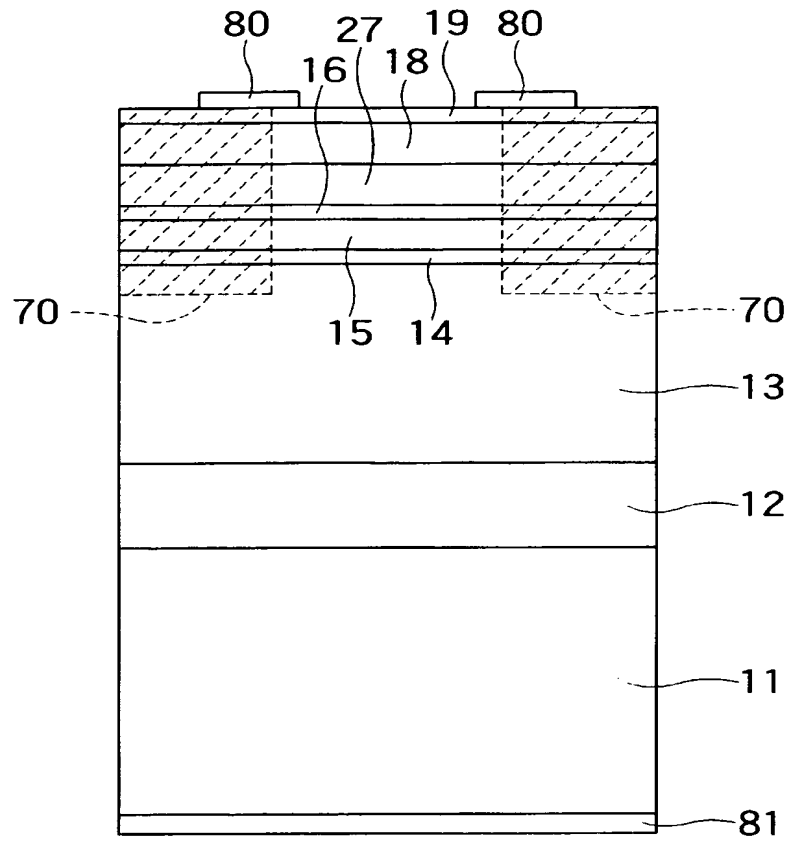


【図 2】



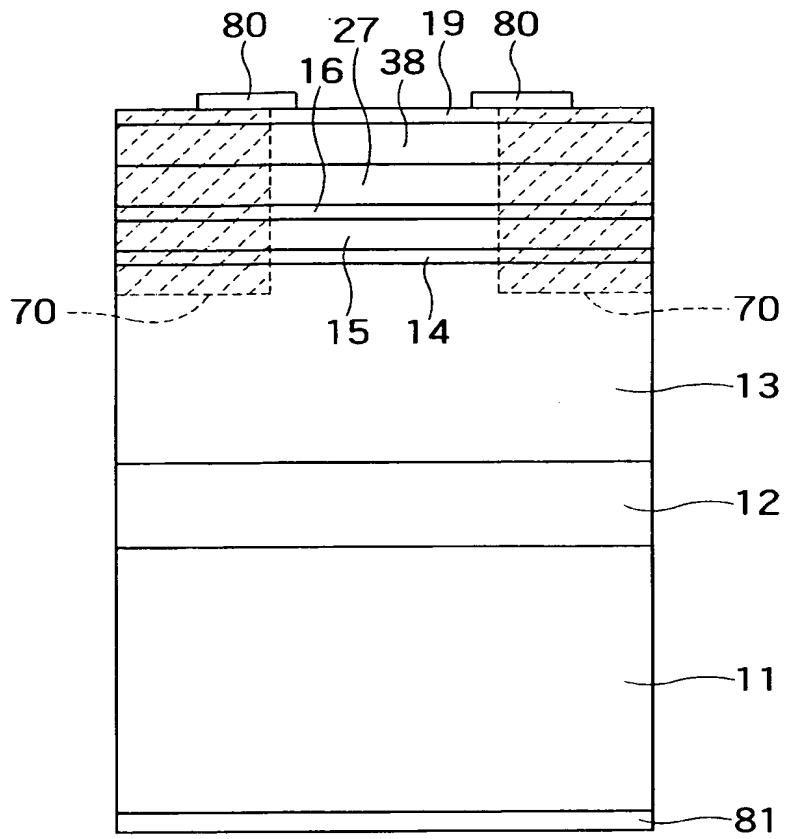
比較サンプル

【図 3】

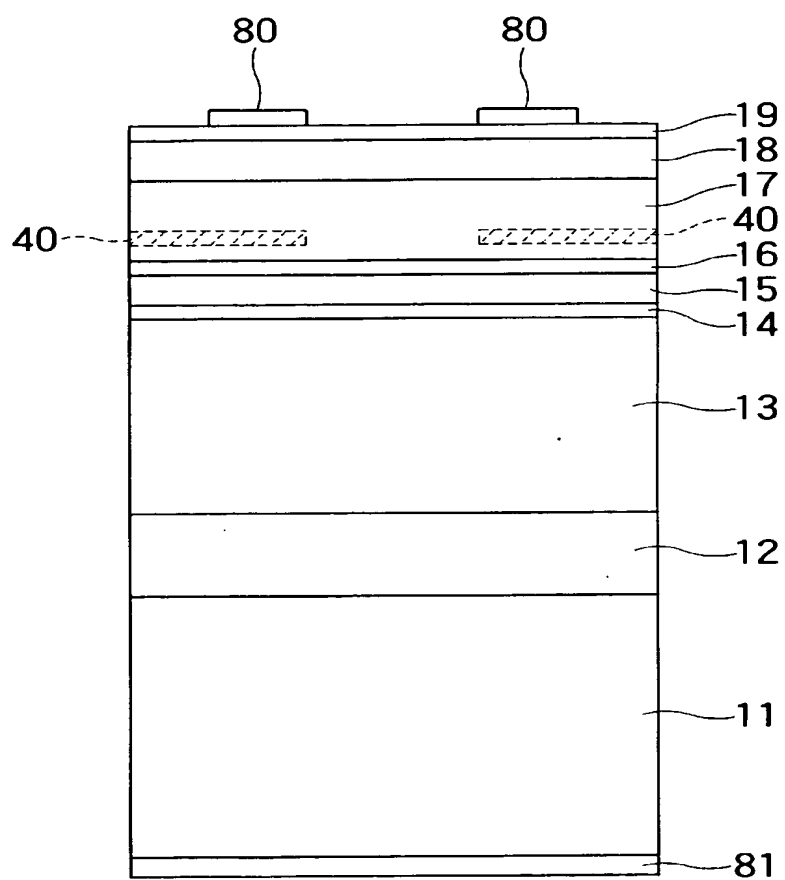




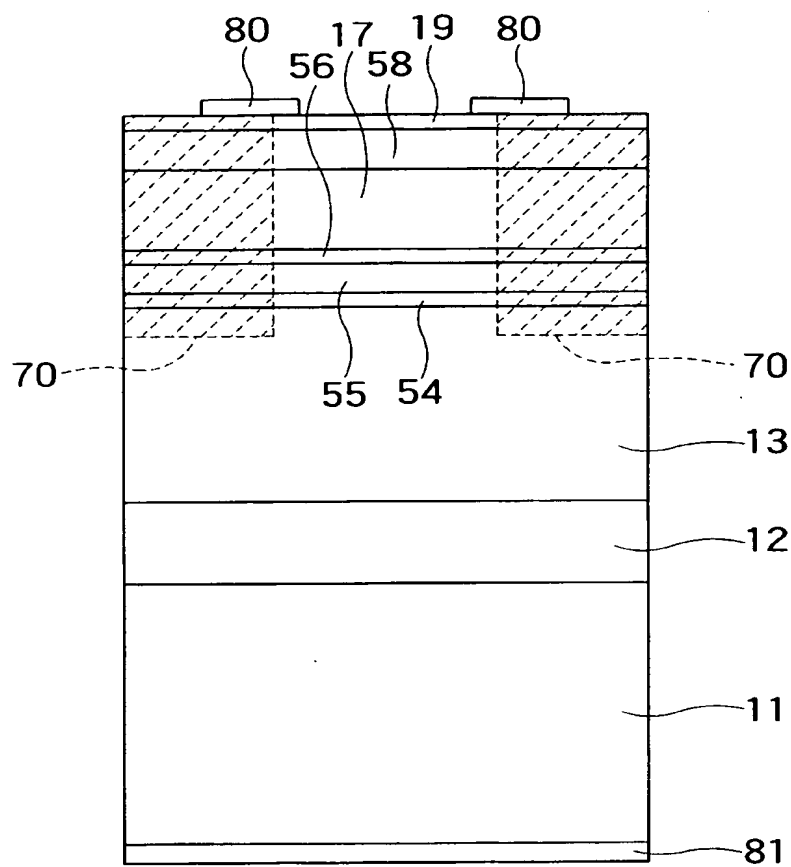
【図 4】



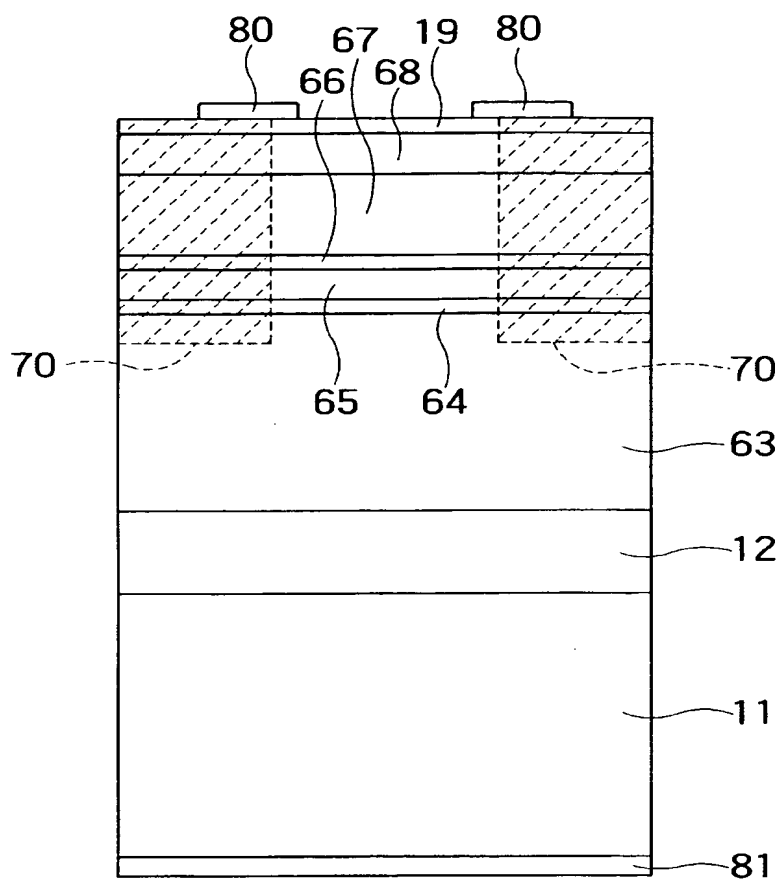
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高速動作で、かつ、光出力が高い R C 型 L E D を提供する。

【解決手段】 波長  $\lambda$  の光を反射する第 1 の反射膜と、前記第 1 の反射膜上に形成され、電流注入により波長  $\lambda$  の光を放射する発光層と、前記発光層上に形成され、第 1 の半導体層と、前記第 1 の半導体層よりも屈折率が低い第 2 の半導体層と、を交互に複数回積層した周期構造からなり、第 2 導電型で、波長  $\lambda$  の光を反射し、波長  $\lambda$  の光に対する反射率が前記第 1 の反射膜よりも低い、第 2 の反射膜と、前記第 2 の反射膜上に形成され、第 2 導電型で、前記第 2 の反射膜の膜厚の  $1/2$  以上の膜厚を有し、波長  $\lambda$  の光に対して透光性を有する電流拡散層と、前記電流拡散層上に形成され、第 2 導電型で、バッドギャップが前記電流拡散層よりも狭いコンタクト層と、少なくとも前記第 2 の反射膜の一部に形成された高抵抗化領域と、を備え、500Mbps 以上の速度で動作可能であることを特徴とする半導体発光素子を提供する。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 0 6 8 5 5 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 3 0 7 8 ]

1. 変更年月日	2 0 0 1 年 7 月 2 日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号
氏 名	株式会社東芝